

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
31. Juli 2003 (31.07.2003)

PCT

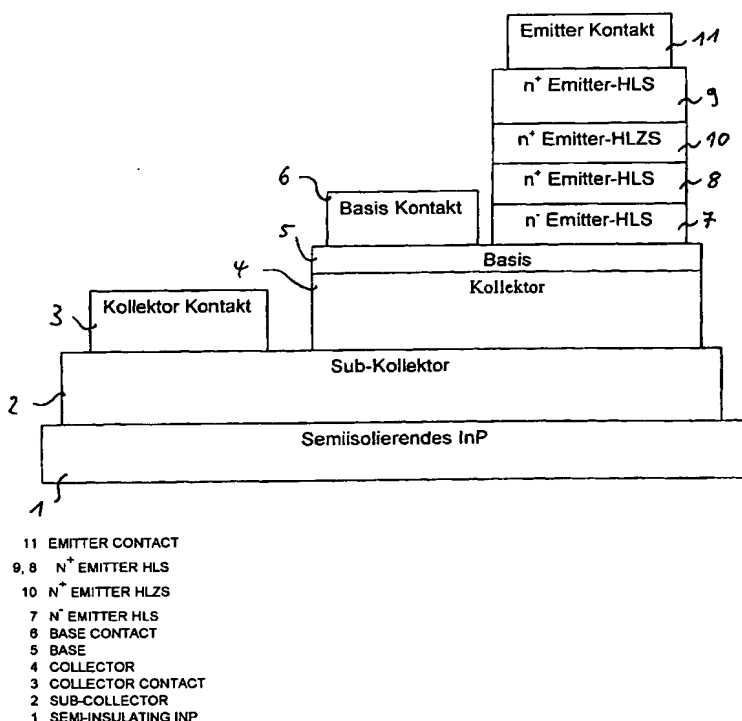
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/063253 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: H01L 29/737, 29/205, 29/201 (72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): HÜLSMANN, Axel [DE/DE]; Herdern Süd, Schlüsselstrasse 8, 79194 Freiburg (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE03/00257 (74) Anwälte: BITTNER, Thomas, L. usw.; Boehmert & Boehmert, Meinekestrasse 26, 10719 Berlin (DE).
- (22) Internationales Anmeldedatum: 24. Januar 2003 (24.01.2003) (81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (25) Einreichungssprache: Deutsch (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
102 03 965.8 25. Januar 2002 (25.01.2002) DE
102 14 076.6 28. März 2002 (28.03.2002) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): MERGEOPTICS GMBH [DE/DE]; Am Borsigturm 17, 13507 Berlin (DE). (84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW),

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: HETERO-BIPOLAR TRANSISTOR

(54) Bezeichnung: HETERO-BIPOLAR-TRANSISTOR



(57) Abstract: The invention relates to a hetero-bipolar transistor with an emitter which comprises a first semiconductor layer (9), produced from a first semiconductor material, and a second semiconductor layer (8), produced from a second semiconductor material. An energy gap value of the first semiconductor material is smaller than an energy gap value of the second semiconductor layer. Between the first semiconductor layer (9) and the second semiconductor layer (8) an intermediate semiconductor layer (10), produced from an intermediate semiconductor material, is disposed. An energy gap value of the intermediate semiconductor material is greater than the energy gap value of the first semiconductor material and smaller than the energy gap value of the second semiconductor material. A potential barrier is formed at the interface between two semiconductor materials that have different energy gap values and said barrier has to be penetrated by a stream of electrons by tunneling. The energy barriers formed at the interfaces of the intermediate semiconductor layer (10) are easier for the electrons to penetrate than one energy barrier formed at the interface between the first semiconductor layer (9) and the second semiconductor layer (8) without an interposed

intermediate semiconductor layer. The invention thus reduces the resistance of the hetero-bipolar transistor/emitter arrangement.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 03/063253 A1



eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung bezieht sich auf einen Hetero-Bipolar-Transistor mit einem Emitter, welcher eine aus einem ersten Halbleitermaterial gebildete erste Halbleiterschicht (9) und eine aus einem zweiten Halbleitermaterial gebildete zweite Halbleiterschicht (8) umfasst, wobei ein Bandlückenwert des ersten Halbleitermaterials kleiner als ein Bandlückenwert des zweiten Halbleitermaterials ist. Zwischen der ersten Halbleiterschicht (9) und der zweiten Halbleiterschicht (8) ist eine aus einem Zwischenschicht-Halbleitermaterial gebildete Halbleiterzwischenschicht (10) angeordnet und ein Bandlückenwert des Zwischenschicht-Halbleitermaterials ist grösser als der Bandlückenwert des ersten Halbleitermaterials und kleiner als der Bandlückenwert des zweiten Halbleitermaterials. An der Grenzfläche zwischen zwei Halbleitermaterialien mit unterschiedlichen Bandlückenwerten bildet sich eine Potentialbarriere aus, die von einem Elektronenstrom zu durchtunneln ist. Die an den Grenzflächen der Halbleiterzwischenschicht (10) auftretenden Energiebarrieren sind für Elektronen gemeinsam leichter zu durchtunneln als eine sich an einer Grenzfläche zwischen der ersten Halbleiterschicht (9) und der zweiten Halbleiterschicht (8) ohne eine dazwischen angeordnete Halbleiterzwischenschicht ausbildende Energiebarriere. Somit wird mittels der Erfindung der Widerstand der Hetero-Bipolar-Transistor-Emitteranordnung gesenkt.

Hetero-Bipolar-Transistor

Die Erfindung betrifft einen Hetero-Bipolar-Transistor mit einem Emitter, welcher eine aus einem ersten Halbleitermaterial gebildete erste Halbleiterschicht und eine aus einem zweiten Halbleitermaterial gebildete zweite Halbleiterschicht umfaßt, wobei ein Bandlückenwert des ersten Halbleitermaterials kleiner als ein Bandlückenwert des zweiten Halbleitermaterials ist.

Hetero-Bipolar-Transistoren (HBT) weisen eine Reihe von Vorteilen auf. Besonders das sehr gute Frequenzverhalten hat dazu geführt, daß Hetero-Bipolar-Transistoren vermehrt in Hochfrequenzschaltungen eingesetzt werden, die zum Beispiel in der Mobilfunktechnik benötigt werden. Die mit Hetero-Bipolar-Transistoren erreichbaren Schaltfrequenzen liegen oberhalb von 100GHz.

Es werden häufig Hetero-Bipolar-Transistoren verwendet, die auf der III-V-Halbleitertechnologie basieren. Ein Emitter eines bekannten npn InP-Hetero-Bipolar-Transistors umfaßt eine Abfolge von aneinander grenzenden Halbleiterschichten. Eine erste n⁺-dotierte Emitter-Halbleiterschicht weist einen geringen Bandlückenwert auf. Ein Halbleitermaterial mit einem geringen Bandlückenwert ist zum Beispiel InGaAs. Die eine Seite der ersten Emitter-Halbleiterschicht ist metallisch kontaktiert. Als nächste Emitter-Halbleiterschicht grenzt eine n⁺-dotierte Halbleiterschicht an, die einen großen Bandlückenwert aufweist. Materialien mit einem großen Bandlückenwert sind zum Beispiel InP und InAlAs. Die sich anschließende n⁻-dotierte Emitter-Halbleiterschicht aus dem gleichen Halbleitermaterial mit großer Bandlücke grenzt an eine p⁺-dotierte Basisschicht mit geringer Bandlücke an. Als Material für die Basisschicht wird häufig InGaAs verwendet.

An den Emitter-Halbleiterschicht-Grenzen InP/InGaAs bzw. InAlAs/InGaAs entsteht ein Leitungsbandsprung, der eine dünne hohe Barriere für Elektronen darstellt. Diese Barriere muß von den Leitungsbandelektronen durchtunnelt werden. Eine solche Energiebarriere stellt jedoch eine Behinderung des Elektronenflusses und somit des Stromflusses dar. Die Energiebarriere erhöht den Emitterwiderstand und begrenzt dadurch den maximalen Emitterstrom.

In der Elektronik wird an jedem stromdurchflossenen Widerstand Wärme erzeugt. Somit führt auch die Energiebarriere, die einen parasitären Widerstand des Emitters darstellt, zu einem erhöhten Leistungsverbrauch des Hetero-Bipolar-Transistors. Insbesondere im Hinblick auf

eine Miniaturisierung der Schaltungen wirkt sich eine Erwärmung der Transistoren im Betrieb nachteilig aus. Darüber hinaus wird durch den parasitären Widerstand des Emitters die maximale Schaltfrequenz des Transistors gesenkt und das Rauschen erhöht.

5 Aufgabe der Erfindung ist es, einen verbesserten Hetero-Bipolar-Transistor mit einer Emittterstruktur zu schaffen, die den parasitären Widerstand senkt.

Diese Aufgabe wird bei einem Hetero-Bipolar-Transistor der eingangs genannte Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß zwischen der ersten Halbleiterschicht und der zweiten Halbleiterschicht eine aus einem Zwischenschicht-Halbleitermaterial gebildete Halbleiterzwischenschicht angeordnet ist und ein Bandlückenwert des Zwischenschicht-Halbleitermaterials
10 größer als der Bandlückenwert des ersten Halbleitermaterials und kleiner als der Bandlückenwert des zweiten Halbleitermaterials ist.

Der Emitter eines erfindungsgemäßen Hetero-Bipolar-Transistors weist mindestens zwei Bandlückenwertsprünge auf, die jeweils kleiner sind, als der Bandlückenunterschied zwischen dem Bandlückenwert der ersten Halbleiterschicht und dem Bandlückenwert der zweiten
15 Halbleiterschicht. Die zwischen der ersten Halbleiterschicht und der Halbleiterzwischenschicht sowie zwischen der Halbleiterzwischenschicht und der zweiten Halbleiterschicht auftretenden Energiebarrieren sind jeweils kleiner als die Energiebarriere zwischen der ersten Halbleiterschicht und der zweiten Halbleiterschicht bei einem bekannten Hetero-Bipolar-Transistor. Da die Tunnelwahrscheinlichkeit der Elektronen durch eine Energiebarriere expo-
20 nentiell von der Barrierenhöhe abhängt, ist die Wahrscheinlichkeit für das Durchtunneln zweier kleiner Energiebarrieren größer als die Wahrscheinlichkeit des Durchtunnelns einer großen Barriere, deren Barrierenhöhe gleich der Summe der Barrierenhöhen der beiden kleinen Barrieren ist. Somit weist der verbesserte Hetero-Bipolar-Transistor einen kleineren Emitterwiderstand als bekannte Hetero-Bipolar-Transistoren auf.

25 Ein verringerter Emitterwiderstand führt beim Betrieb des Hetero-Bipolar-Transistors zu einer geringeren Erwärmung und senkt die Verlustleistung. Die Rauscheigenschaften werden verbessert und zusätzlich erhöht sich die maximale Schaltfrequenz des Hetero-Bipolar-Transistors.

Eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung kann vorsehen, daß das Zwischenschicht-
30 Halbleitermaterial zu dem ersten Halbleitermaterial oder/und dem zweiten Halbleitermaterial

gitterangepaßt ist. Dies bietet den Vorteil, daß sich keine Fehlstellen in der Halbleiterzwichenschicht bzw. der ersten Halbleiterschicht oder der zweiten Halbleiterschicht bilden. Fehlstellen in einem Halbleitermaterial erhöhen den parasitären Widerstand des Halbleitermaterials. Durch die Gitteranpassung wird somit der Emitterwiderstand weiter gesenkt.

- 5 Ferner kann es vorteilhaft sein, daß der Bandlückenwert des Zwischenschicht-Halbleitermaterials gleich der Hälfte der Summe des Bandlückenwerts des ersten Halbleitermaterials und des Bandlückenwerts des zweiten Halbleitermaterials ist. Hierdurch wird die Tunnelwahrscheinlichkeit durch die beiden an den Grenzflächen der Halbleiterzwichenschicht auftretenden Barrieren optimiert, und somit wird der durch die beiden Energiebarrieren bedingte
- 10 Emitterwiderstand minimal.

- Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung können vorsehen, daß das erste Halbleitermaterial InGaAs, das zweite Halbleitermaterial InP und das Zwischenschicht-Halbleitermaterial InGaAsP umfaßt, oder, daß das erste Halbleitermaterial InGaAs, das zweite Halbleitermaterial InAlAs und das Zwischenschicht-Halbleitermaterial AlGaInAs umfaßt.
- 15 Dies bietet den Vorteil, daß der Bandlückenwert der ersten Halbleiterzwichenschicht durch eine Variation der Zusammensetzung der Elemente Indium, Gallium, Arsen und Phosphor bzw. der Elemente Aluminium, Gallium, Indium und Arsen der Bandlückenwert der ersten Halbleiterzwichenschicht variiert werden kann.

- Eine andere vorteilhafte Fortbildung der Erfindung kann vorsehen, daß zwischen der ersten
- 20 Halbleiterschicht und der zweiten Halbleiterschicht eine von der Halbleiterzwichenschicht und mindestens einer weiteren aus einem weiteren Zwischenschicht-Halbleitermaterial gebildeten Halbleiterzwichenschicht gebildete Folge von n ($n \geq 2$) stapelartig angeordneten Halbleiterzwichenschichten angeordnet ist, die mindestens eine weitere Halbleiterzwichenschicht zwischen der Halbleiterzwichenschicht und der zweiten Halbleiterschicht angeordnet
- 25 ist, und ein Bandlückenwert des weiteren Zwischenschicht-Halbleitermaterials größer als der Bandlückenwert des Zwischenschicht-Halbleitermaterials und kleiner als der Bandlückenwert des zweiten Halbleitermaterials ist. Dies bietet den Vorteil, daß mindestens drei Energiebarrieren im Emitter auftreten. Das Durchtunneln von mindestens drei Barrieren ist im Vergleich zum Durchtunneln von zwei Barrieren wahrscheinlicher, wenn die Barrierenhöhensumme der
- 30 mindestens drei Energiebarrieren gleich der Barrierenhöhensumme der zwei Energiebarrieren ist. Ein Hetero-Bipolar-Transistor mit einem Emitter mit einer Halbleiterzwichenschicht und

mindestens einer weiteren Halbleiterzwischenschicht weist somit einen geringeren Emitterwiderstand auf als ein HBT mit nur einer Halbleiterzwischenschicht.

Bei einer zweckmäßigen Weiterbildung der Erfindung kann vorgesehen, daß das erste Halbleitermaterial einen Bandlückenwert B_e , das zweite Halbleitermaterial einen Bandlückenwert B_z und ein Zwischenschicht-Halbleitermaterial einer j -ten der n Halbleiterzwischenschichten ($2 \leq j \leq n$) einen Bandlückenwert B_j aufweist, für den gilt: $B_j = B_e + j \cdot (1/(1+n)) \cdot (B_z - B_e)$. Hierdurch wird die Gesamttunnelwahrscheinlichkeit eines Elektrons in einem Emitters eines Hetero-Bipolar-Transistors mit n Halbleiterzwischenschichten optimiert.

Eine weitere Fortbildung der Erfindung sieht vor, daß die Anzahl n der die Folge bildenden Halbleiterzwischenschichten so gewählt ist, daß die Anzahl n der die Folge bildenden Halbleiterzwischenschichten so gewählt ist, daß mittels der Bandlückenwerten der zwischen dem ersten Halbleitermaterial und dem zweiten Halbleitermaterial angeordneten Zwischenschichten-Halbleitermaterialien einen quasi linearen Übergang zwischen dem Bandlückenwert des ersten Halbleitermaterials und dem Bandlückenwert des zweiten Halbleitermaterials gebildet ist. Ein solcher Hetero-Bipolar-Transistor weist einen minimalen Emitterwiderstand auf, der auf die Bandlückenwertunterschiede zurückgeführt werden kann.

Eine Ausführungsform der Erfindung kann vorsehen, daß die erste Halbleiterschicht metallisch kontaktiert ist. Die metallische Kontaktierung ermöglicht es, den Emitterstrom des Hetero-Bipolar-Transistors abzuführen.

Eine zweckmäßige Weiterbildung kann darin bestehen, daß an die zweite Halbleiterschicht eine weitere Halbleiterschicht angrenzt und die weitere Halbleiterschicht an eine Basis angrenzt. Dies eröffnet die Möglichkeit, daß die weitere Halbleiterschicht, die an die Basis angrenzt, eine andere Dotierung als die zweite Halbleiterschicht aufweisen kann.

Im folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf eine Zeichnung näher erläutert. Dabei zeigen:

Figur 1 einen schematischen Querschnitt eines npn Hetero-Bipolar-Transistors mit einem stufengraduierten Emitter;

- Figur 2 einen schematischen Querschnitt einer anderen Ausführungsform eines npn Hetero-Bipolar-Transistors mit einem stufengraduierten Emitter;
- Figur 3 einen schematischen Querschnitt einer weiteren Ausführungsform eines npn Hetero-Bipolar-Transistors mit einem stufengraduierten Emitter;
- 5 Figur 4a den schematischen Verlauf des Leitungsbands eines konventionellen Emitters;
- Figur 4b den schematischen Verlauf des Leitungsbands eines stufengraduierten Emitters; und
- Figur 4c den schematischen Verlauf des Leitungsbands eines homogen graduierten Emitters.
- 10 Figur 1 zeigt eine schematische Darstellung eines npn Hetero-Bipolar-Transistors mit einem stufengraduierten Emitter. Ein Hetero-Bipolar-Transistor umfaßt mehrere epitaktisch aufeinander aufgewachsene Schichten. Auf einer semiisolierenden InP-Schicht 1 ist ein Sub-Kollektor 2 angeordnet. An den Sub-Kollektor grenzt ein Kollektor Kontakt 3 sowie ein Kollektor 4 an. An den Kollektor 4 grenzt eine p-dotierte Basisschicht 5 an. Eine dem Kollektor
- 15 abgewandte Seite der Basisschicht 5 weist einen Basis-Kontakt 6 und eine Grenzfläche zu einer n--dotierte Emitter-Halbleiterschicht 7 (Emitter-HLS) auf. Die Basisschicht umfaßt in der Regel ein Halbleitermaterial mit einem geringen Bandlückenwert, wie zum Beispiel InGaAs. Die n--dotierte Emitter-Halbleiterschicht 7 umfaßt ein Halbleitermaterial mit einem großen Bandlückenwert. Solche Materialien sind zum Beispiel InP und InAlAs. An die n--
- 20 dotierte Emitter-Halbleiterschicht 7 schließt sich eine n+-dotierte Emitter-Halbleiterschicht 8 an, die ein Halbleitermaterial mit einem großen Bandlückenwert umfaßt. In der Regel ist das Halbleitermaterial der n--dotierten Emitter-Halbleiterschicht 7 und der n+-dotierten Emitter-Halbleiterschicht 8 identisch. Zwischen die n+-dotierte Emitter-Halbleiterschicht 8 mit großem Bandlückenwert und eine n+-dotierte Emitter-Halbleiterschicht 9 mit einem geringeren
- 25 Bandlückenwert, die den Abschluß der aufeinander angeordneten epitaktisch aufgewachsenen Emitter-Schichten darstellt, ist eine n+-dotierte Emitter-Halbleiterzwischenschichten 10 (Emitter-HLZS) angeordnet. Dabei ist der Bandlückenwert der Emitter-Halbleiterzwischenschicht 10 größer als der Bandlückenwert der n+-dotierten Emitter-Halbleiterschicht 9 mit dem geringen Bandlückenwert und kleiner als der Bandlückenwert der n+-dotierten

Emitter-Halbleiterschicht 8 mit dem großem Bandlückenwert. Auf einer Seite der n⁺-dotierten Emitter-Halbleiterschicht 9 ist ein metallischen Emitter-Kontakt 11 angeordnet.

Die in Figur 2 gezeigte Ausführungsform eines npn Hetero-Bipolar-Transistors mit einem stufengraduierten Emitter unterscheidet sich von der Ausführungsform der Figur 1 dadurch, daß zwischen der Emitter-Halbleiterschicht 9 mit dem geringe Bandlückenwert und der Emitter-Halbleiterschicht 8 mit dem großen Bandlückenwert zwei Emitter-Halbleiterzwischenschichten 21, 22 angeordnet sind. Die Bandlückenwerte weisen dabei folgende Werte auf: Der Bandlückenwert der Emitter-Halbleiterzwischenschicht 21 ist größer als der Bandlückenwert der Emitter-Halbleiterschicht 9 und kleiner als der Bandlückenwert der Emitter-Halbleiterzwischenschicht 22. Der Bandlückenwert der Emitter-Halbleiterzwischenschicht 22 ist seinerseits größer als der Bandlückenwert der Emitter-Halbleiterzwischenschicht 21 und kleiner als der Bandlückenwert der Emitter-Halbleiterschicht 8. Die beiden Emitter-Halbleiterzwischenschichten können unterschiedliche Halbleitermaterialien oder das gleiche Halbleitermaterial umfassen.

Eine weitere Ausführungsform eines Hetero-Bipolar-Transistors ist in Figur 3 dargestellt. Bei dieser Ausführungsform ist eine Folge von n ($n \geq 2$) Emitter-Halbleiterzwischenschichten 31, 32, 33 zwischen der n⁺-dotierten Emitter-Halbleiterzwischenschicht 9 mit dem geringen Bandlückenwert und der n⁺-dotierten Emitter-Halbleiterzwischenschicht 8 mit dem großen Bandlückenwert angeordnet. Einer j-ten Emitter-Halbleiterzwischenschicht 32 ($1 \leq j \leq n$) weist ein Bandlückenwert B_j auf, für den gilt: $B_{j-1} \leq B_j \leq B_{j+1}$, wobei B_0 ein Bandlückenwert der Emitter-Halbleiterschicht 9 mit dem geringen Bandlückenwert und B_{n+1} ein Bandlückenwert der Emitter-Halbleiterschicht 8 mit dem großen Bandlückenwert ist. Wie bei der Ausführungsform nach Figur 2 können die Emitter-Halbleiterzwischenschichten 31, 32, 33 unterschiedliche Halbleitermaterialien oder das gleiche Halbleitermaterial umfassen.

Bei einem Hetero-Bipolar-Transistor nach dem Stand der Technik tritt an einer Grenzfläche zwischen der n⁺-dotierten Halbleiterschicht mit großem Bandlückenwert und einer n⁺-dotierten Emitter-Halbleiterschicht mit einem geringerem Bandlückenwert eine Leitungsbanddiskontinuität auf. Solch ein schematischer Leitungsbandverlauf ist in Figur 4a dargestellt. Dabei stellt InGaAs ein Halbleitermaterial mit einem geringen Bandlückenwert und InP ein Halbleitermaterial mit einem großen Bandlückenwert dar. Die dargestellte Energiebarriere muß von Elektronen im Betrieb durchtunnelt werden.

In Figur 4b ist der Leitungsbandverlauf eines stufengraduierten Emitters gemäß Figur 1 mit einer Emitter-Halbleiterzwischenschicht 10 dargestellt. In diesem Ausführungsbeispiel umfaßt die Emitter-Halbleiterschicht 9 mit dem geringen Bandlückenwert InGaAs, die Emitter-Halbleiterzwischenschicht 10 InGaAsP und die Emitter-Halbleiterschicht 8 mit dem großen Bandlückenwert InP. Bei der dargestellten Ausführungsform ist der Bandlückenwert der Emitter-Halbleiterzwischenschicht 10, InGaAsP, gleich der Hälfte der Summe aus dem Bandlückenwert der Emitter-Halbleiterschicht 9, InGaAs, mit dem geringem Bandlückenwert und dem Bandlückenwert der Emitter-Halbleiterschicht 8, InP, mit dem großem Bandlückenwert. An den beiden Grenzflächen der Emitter-Halbleiterzwischenschicht 10, InGaAsP, treten zwei dünne Energiebarrieren auf, deren Barrierenhöhen halb so groß sind, wie die Barrierenhöhe der in Figur 4a dargestellten Energiebarriere. Da die Barrierenhöhe exponentiell in die Tunnelwahrscheinlichkeit eingeht, ist es für ein Elektron wahrscheinlicher, zwei halbhohle Energiebarrieren zu durchtunneln als eine Energiebarriere mit voller Höhe. Daher weist ein stufengraduierter Emitter einen geringeren Widerstandswert auf als ein Emitter eines HBTs nach dem Stand der Technik.

Eine vorteilhafte Weiterbildung der Ausführungsform nach Figur 1 kann vorsehen, daß der Bandlückenwert der Emitter-Halbleiterzwischenschicht einen Bandlückenwert aufweist, dessen Differenz zu der n+-dotierten Emitter-Halbleiterschicht mit dem geringeren Bandlückenwert kleiner/größer als die Differenz zu dem Bandlückenwert der Emitter-Halbleiterschicht mit dem großem Bandlückenwert ist. Die an den Grenzflächen der Emitter-Halbleiterzwischenschicht entstehenden Energiebarrieren sind in dieser Ausführungsform ungleich hoch. Dadurch kann der Widerstandswert des Emitters variiert werden.

Bei den Ausführungsformen nach den Figuren 2 und 3 treten im Emitter an mehr als zwei Grenzflächen Bandlückenwertdiskontinuitäten auf. Dabei wird die Energiebarrierenhöhe, die in einem Emitter eines HBTs nach dem Stand der Technik auftritt, auf die größere Anzahl kleiner Barrieren „verteilt“, wobei die Gesamtsumme der kleinen Barrierenhöhen eine Gesamtbarrierenhöhe ergibt, die gleich der Energiebarrierenhöhe in einem Emitter nach dem Stand der Technik ist. Durch die „Verteilung“ der Gesamtbarrierenhöhe auf eine größere Anzahl kleinerer Barrieren wird die Gesamttunnelwahrscheinlichkeit eines Elektrons durch alle Energiebarrieren weiter gesenkt.

Eine vorteilhafte Weiterbildung der Ausführungsform der Figur 3 kann vorsehen, daß die Differenz zwischen dem Bandlückenwerten zweier aneinander grenzender Emitter-

Halbleiterzwischenschichten gleich $1/(n+1)$ -tel der Differenz des Bandlückenwerts der Emitter-Halbleiterschicht mit dem großen Bandlückenwert und des Bandlückenwerts der Emitter-Halbleiterschicht mit dem geringen Bandlückenwert ist.

5 Wird die Zahl der Emitter-Halbleiterzwischenschichten n groß genug gewählt, so erhält man einen homogen gradierten Emitter. Der schematische Verlauf des Leitungsbandes für einen solchen homogen gradierten Emitter ist in Figur 4c dargestellt. Der Widerstandsanteil des Emitterwiderstands, der auf die Änderung des Bandlückenwerts entlang des Emitters zurückzuführen ist, wird bei einem homogen gradierten Emitter minimal. In einem homogen gradierten Emitter kann man einen quasi linearen Übergang der Bandlückenwerte entlang der
10 Emitter-Halbleiterzwischenschichten von dem Bandlückenwert der Emitter-Halbleiterschicht mit dem geringen Bandlückenwert zu dem Bandlückenwert der Emitter-Halbleiterschicht mit dem großen Bandlückenwert erhalten.

Für alle beschriebenen Ausführungsformen ist es vorteilhaft, wenn die Emitter-Halbleiterzwischenschichten jeweils möglichst gut an ihre angrenzenden Emitter-Halbleiterschichten bzw. Emitter-Halbleiterzwischenschichten gitterangepaßt sind. Dadurch wird das
15 auftreten von Fehlstellen an den Grenzflächen und in den Emitter-Halbleiterzwischenschichten bzw. Emitter-Halbleiterschichten verhindert, die zu einem parasitären Widerstand der Emitter führen.

Die angegebenen Halbleitermaterialien in der vorstehenden Beschreibung stellen lediglich
20 Beispiele dar. Eine mögliche Ausführungsform kann vorsehen, daß die Emitter-Halbleiterschicht mit dem geringen Bandlückenwert InGaAs, die Emitter-Halbleiterzwischenschicht AlGaInAs und die Emitter-Halbleiterschicht mit dem großen Bandlückenwert AlInAs umfaßt. Wie der Fachmann erkennt, können die Emitter-Halbleiterschichten bzw. Emitter-Halbleiterzwischenschichten auch andere Materialien wie GaAs und SiGe, usw. umfassen.

25 Wie beschrieben liefert die Erfindung einen Hetero-Bipolar-Transistor mit einem Emitter, dessen Emitterwiderstand klein gegenüber dem Emitterwiderstand von Hetero-Bipolar-Transistoren gemäß dem Stand der Technik ist. Dieses Senken des Emitterwiderstandes reduziert den Leistungsverbrauch, die Eigenerwärmung und das Rauschen in einer Schaltung, in der Hetero-Bipolar-Transistoren eingesetzt werden. Ferner führt die Verringerung des Emitterwiderstandes dazu, daß die Grenz- und Schaltfrequenz des Hetero-Bipolar-Transistors erhöht wird.
30

Die in der vorstehenden Beschreibung, der Zeichnung und den Ansprüchen offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Verwirklichung der Erfindung in ihren verschiedenen Ausführungsformen von Bedeutung sein.

Ansprüche

1. Hetero-Bipolar-Transistor mit einem Emitter, welcher eine aus einem ersten Halbleitermaterial gebildete erste Halbleiterschicht (9) und eine aus einem zweiten Halbleitermaterial gebildete zweite Halbleiterschicht (8) umfaßt, wobei ein Bandlückenwert des ersten Halbleitermaterials kleiner als ein Bandlückenwert des zweiten Halbleitermaterials ist, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen der ersten Halbleiterschicht (9) und der zweiten Halbleiterschicht (8) eine aus einem Zwischenschicht-Halbleitermaterial gebildete Halbleiterzwischenschicht (10) angeordnet ist und ein Bandlückenwert des Zwischenschicht-Halbleitermaterials größer als der Bandlückenwert des ersten Halbleitermaterials und kleiner als der Bandlückenwert des zweiten Halbleitermaterials ist.
2. Hetero-Bipolar-Transistor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Zwischenschicht-Halbleitermaterial zu dem ersten Halbleitermaterial oder/und dem zweiten Halbleitermaterial gitterangepaßt ist.
3. Hetero-Bipolar-Transistor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Bandlückenwert des Zwischenschicht-Halbleitermaterials gleich der Hälfte der Summe des Bandlückenwerts des ersten Halbleitermaterials und des Bandlückenwerts des zweiten Halbleitermaterials ist.
4. Hetero-Bipolar-Transistor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Halbleitermaterial InGaAs, das zweite Halbleitermaterial InP und das Zwischenschicht-Halbleitermaterial InGaAsP umfaßt.
5. Hetero-Bipolar-Transistor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Halbleitermaterial InGaAs, das zweite Halbleitermaterial InAlAs und das Zwischenschicht-Halbleitermaterial AlGaInAs umfaßt.
6. Hetero-Bipolar-Transistor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen der ersten Halbleiterschicht (9) und der zweiten Halbleiterschicht (8) eine von der Halbleiterzwischenschicht (31) und mindestens einer weiteren aus einem weiteren Zwischenschicht-Halbleitermaterial gebildeten Halbleiterzwischenschicht (32) gebildete Folge von n ($n \geq 2$) stapelartig angeordneten Halbleiterzwischenschichten (31, 32, 33) angeordnet ist, die mindestens eine weitere Halbleiterzwischenschicht (32) zwischen der Halbleiterzwischenschicht (31) und der zweiten Halbleiterschicht (8) ange-

ordnet ist, und ein Bandlückenwert des weiteren Zwischenschicht-Halbleitermaterials größer als der Bandlückenwert des Zwischenschicht-Halbleitermaterials und kleiner als der Bandlückenwert des zweiten Halbleitermaterials ist.

- 5 7. Hetero-Bipolar-Transistor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Halbleitermaterial einen Bandlückenwert B_e , das zweite Halbleitermaterial einen Bandlückenwert B_z und ein Zwischenschicht-Halbleitermaterial einer j-ten der n Halbleiterzwischenschichten ($2 \leq j \leq n$) einen Bandlückenwert B_j aufweist, für den gilt: $B_j = B_e + j \cdot (1/(1+n)) \cdot (B_z - B_e)$.
- 10 8. Hetero-Bipolar-Transistor nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Anzahl n der die Folge bildenden Halbleiterzwischenschichten (31, 32, 33) so gewählt ist, daß mittels der Bandlückenwerten der zwischen dem ersten Halbleitermaterial und dem zweiten Halbleitermaterial angeordneten Zwischenschichten-Halbleitermaterialien einen quasi linearer Übergang zwischen dem Bandlückenwert des ersten Halbleitermaterials und dem Bandlückenwert des zweiten Halbleitermaterials gebildet ist.
- 15 9. Hetero-Bipolar-Transistor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Halbleiterschicht (9) metallisch kontaktiert ist.
- 20 10. Hetero-Bipolar-Transistor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß an die zweite Halbleiterschicht (8) auf einer von den Halbleiterzwischenschichten (10, 21, 22, 31, 32, 33) abgewandten Seite eine weitere Halbleiterschicht (7) angrenzt und die weitere Halbleiterschicht (7) an eine Basis (5) angrenzt.

Fig. 1

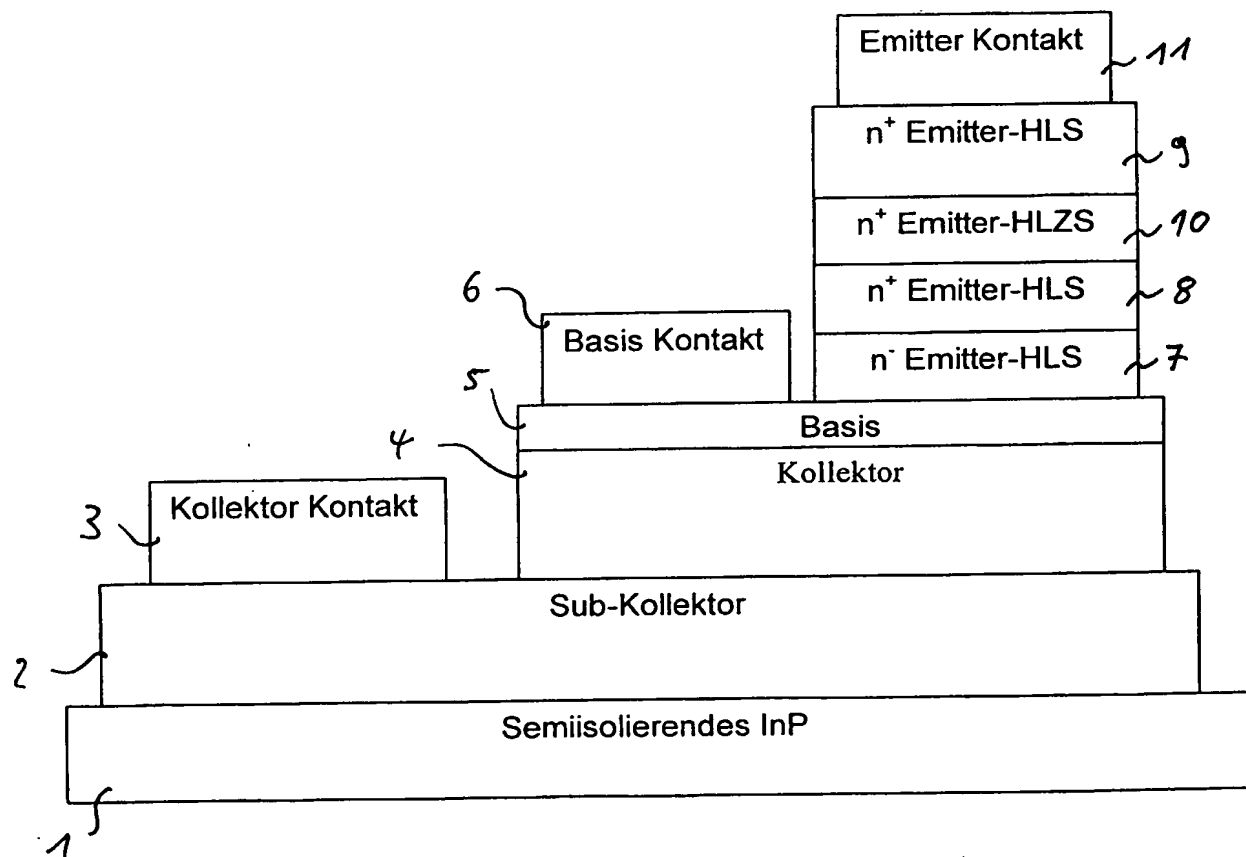


Fig. 2

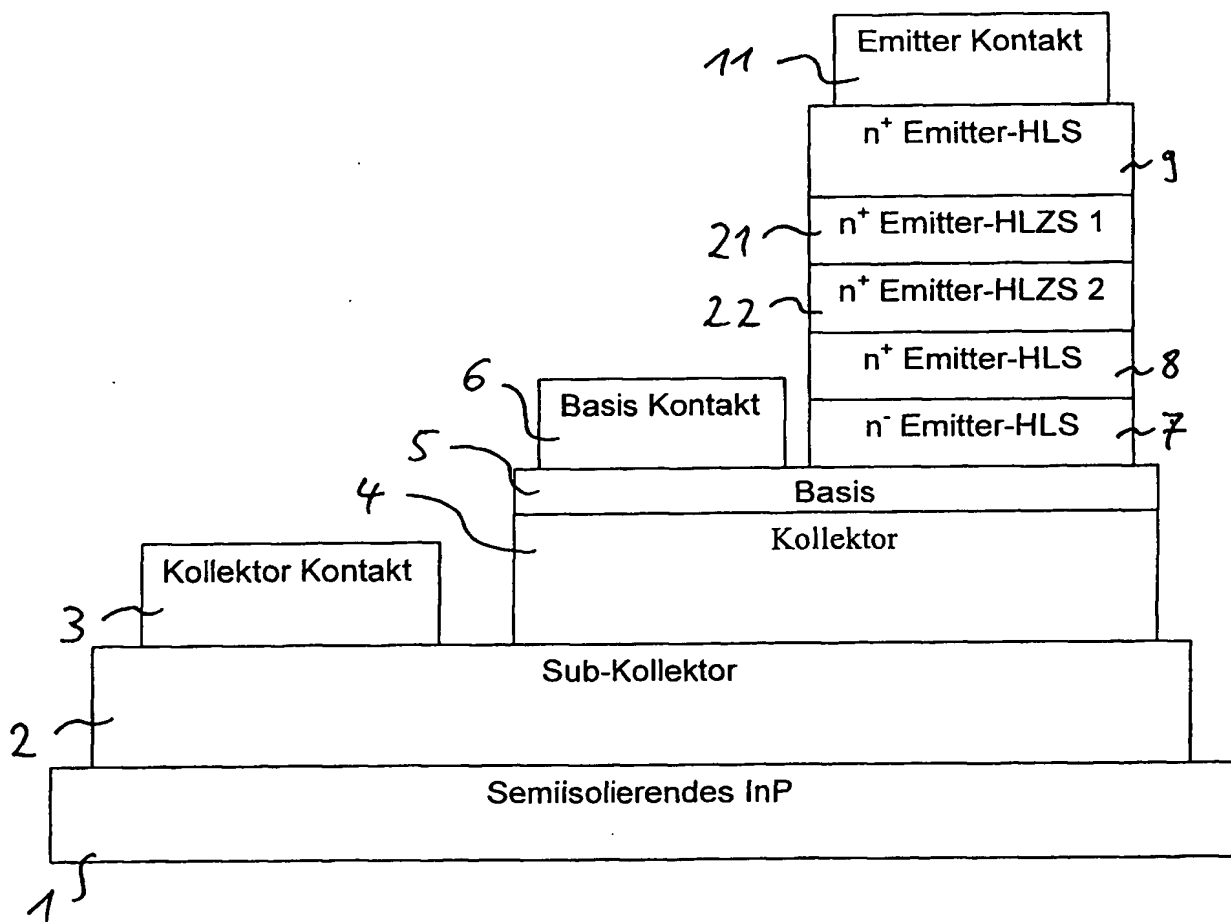


Fig. 3

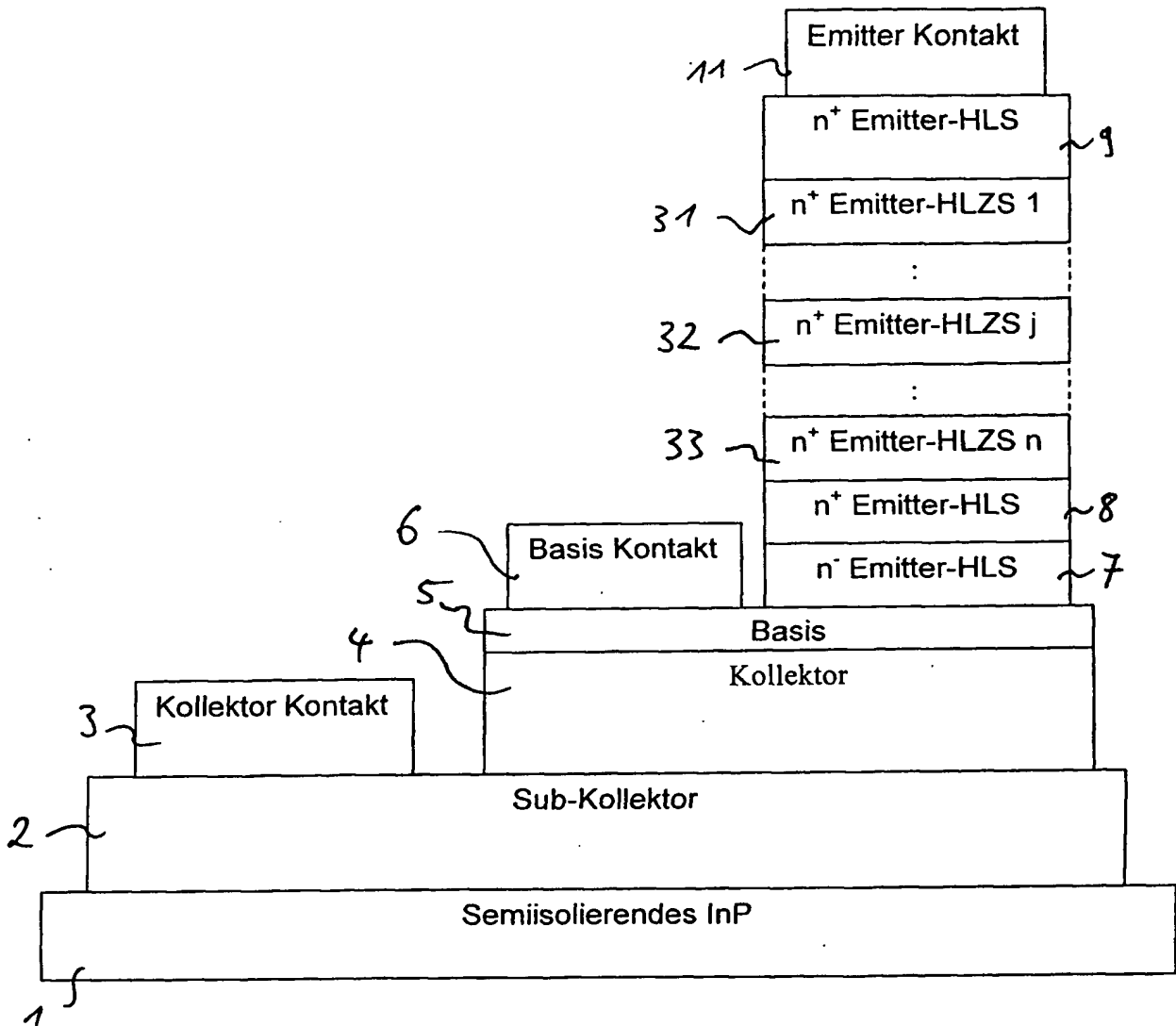


Fig. 4a

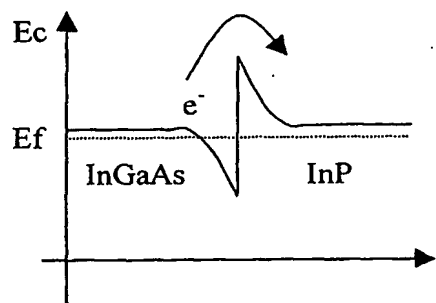


Fig. 4b

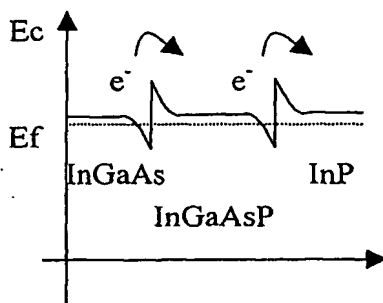
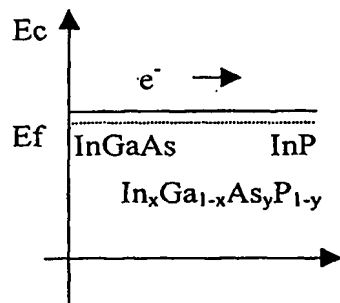


Fig. 4c



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern al Application No
PCT/DE 00257A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 H01L29/737 H01L29/205 H01L29/201

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, COMPENDEX, WPI Data, PAJ, IBM-TDB

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 041 882 A (KATOH RIICHI) 20 August 1991 (1991-08-20) column 1, line 63 -column 8, line 52; figures 2,9	1-4,6-10
X	US 5 266 818 A (TSUDA KUNIO ET AL) 30 November 1993 (1993-11-30) abstract; figures 1-4 -/--	1-3,7-10

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *G* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

8 May 2003

Date of mailing of the international search report

23/05/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Berthold, K

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter al Application No

PC1/DE 00257

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	MEYYAPPAN M ET AL: "Analysis of InP/InGaAs double heterostructure bipolar transistors for high frequency applications" SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE. INDIUM PHOSPHIDE AND RELATED MATERIALS (CAT. NO.90CH2859-7), DENVER, CO, USA, 23-25 APRIL 1990 , 23 April 1990 (1990-04-23), pages 291-294, XP010005270 page 291, paragraph 3 -page 292, paragraph 1; figure 1	1-4,6-10
X	KOCH S ET AL: "THIN-BASE INGAAS HETEROJUNCTION BIPOLAR TRANSISTOR WITH PARABOLICALLY GRADED INGAALAS EMITTER" JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, PUBLICATION OFFICE JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS. TOKYO, JP, vol. 32, no. 7B, PART 2, 15 July 1993 (1993-07-15), pages L984-986, XP000487411 ISSN: 0021-4922 page L984, right-hand column, line 1-20; table 1	1-3,9,10
X	US 5 767 540 A (SHIMIZU MASAFUMI) 16 June 1998 (1998-06-16) column 7, line 62 -column 9, line 30; figures 2,6	1-3,6-10
X	HIRATA K ET AL: "INGAP/GAAS SUB-SQUARE-MICRON EMITTER HBT WITH FMAX>100 GHZ" JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, PUBLICATION OFFICE JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS. TOKYO, JP, vol. 36, no. 3B, PART 1, 1 March 1997 (1997-03-01), pages 1799-1803, XP000703104 ISSN: 0021-4922 page 1799, column Z, paragraph 2; table 1	1-3,6,9,10
X	IWAI T ET AL: "Microwave power InAlAs/InGaAs double heterojunction bipolar transistors with 1.5 V-low voltage operation" DEVICE RESEARCH CONFERENCE, 1995. DIGEST. 1995 53RD ANNUAL CHARLOTTESVILLE, VA, USA 19-21 JUNE 1995, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, 19 June 1995 (1995-06-19), pages 88-89, XP010162116 ISBN: 0-7803-2788-8 page 88; figure 1	1-3,5-10

-/--

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 00257

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	YAMADA F M ET AL: "Reliability of a High Performance Monolithic Ic Fabricated Using a Production Gaas/aigaas Hbt Process" GAAS IC SYMPOSIUM. IEEE GALLIUM ARSENIDE INTEGRATED CIRCUIT SYMPOSIUM. 16TH ANNUAL. TECHNICAL DIGEST 1994 (CAT. NO.94CH34488), PROCEEDINGS OF 1994 IEEE GAAS IC SYMPOSIUM, PHILDELPHIA, PA, USA, 16-19 OCT. 1994 , 16 October 1994 (1994-10-16), pages 271-274, XP010255294 abstract; figure 1	1-3,6-10
A	WO 01 09957 A (HRL LAB LLC) 8 February 2001 (2001-02-08) page 9, paragraph 1	6-8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PC1/DE 00257

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
US 5041882	A	20-08-1991	JP	2804095 B2		24-09-1998
			JP	3042841 A		25-02-1991
US 5266818	A	30-11-1993	DE	69030355 D1		07-05-1997
			DE	69030355 T2		04-09-1997
			EP	0430595 A1		05-06-1991
			JP	2980630 B2		22-11-1999
			JP	3218675 A		26-09-1991
US 5767540	A	16-06-1998	JP	3117831 B2		18-12-2000
			JP	6244195 A		02-09-1994
WO 0109957	A	08-02-2001	AU	6383000 A		19-02-2001
			WO	0109957 A1		08-02-2001

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Inter les Aktenzeichen

PCT/DE 00257

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 IPK 7 H01L29/737 H01L29/205 H01L29/201

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, COMPENDEX, WPI Data, PAJ, IBM-TDB

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 041 882 A (KATOH RIICHI) 20. August 1991 (1991-08-20) Spalte 1, Zeile 63 -Spalte 8, Zeile 52; Abbildungen 2,9	1-4,6-10
X	US 5 266 818 A (TSUDA KUNIO ET AL) 30. November 1993 (1993-11-30) Zusammenfassung; Abbildungen 1-4 -/-	1-3,7-10



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

8 Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

8. Mai 2003

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

23/05/2003

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Berthold, K

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	MEYYAPPAN M ET AL: "Analysis of InP/InGaAs double heterostructure bipolar transistors for high frequency applications" SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE. INDIUM PHOSPHIDE AND RELATED MATERIALS (CAT. NO.90CH2859-7), DENVER, CO, USA, 23-25 APRIL 1990 , 23. April 1990 (1990-04-23), Seiten 291-294, XP010005270 Seite 291, Absatz 3 -Seite 292, Absatz 1; Abbildung 1 ---	1-4,6-10
X	KOCH S ET AL: "THIN-BASE INGAAS HETEROJUNCTION BIPOLAR TRANSISTOR WITH PARABOLICALLY GRADED INGAALAS EMITTER" JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, PUBLICATION OFFICE JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS. TOKYO, JP, Bd. 32, Nr. 7B, PART 2, 15. Juli 1993 (1993-07-15), Seiten L984-986, XP000487411 ISSN: 0021-4922 Seite L984, rechte Spalte, Zeile 1-20; Tabelle 1 ---	1-3,9,10
X	US 5 767 540 A (SHIMIZU MASAFUMI) 16. Juni 1998 (1998-06-16) Spalte 7, Zeile 62 -Spalte 9, Zeile 30; Abbildungen 2,6 ---	1-3,6-10
X	HIRATA K ET AL: "INGAP/GAAS SUB-SQUARE-MICRON EMITTER HBT WITH FMAX>100 GHZ" JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, PUBLICATION OFFICE JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS. TOKYO, JP, Bd. 36, Nr. 3B, PART 1, 1. März 1997 (1997-03-01), Seiten 1799-1803, XP000703104 ISSN: 0021-4922 Seite 1799, Spalte Z, Absatz 2; Tabelle 1 ---	1-3,6,9,10
X	IWAI T ET AL: "Microwave power InAlAs/InGaAs double heterojunction bipolar transistors with 1.5 V-low voltage operation" DEVICE RESEARCH CONFERENCE, 1995. DIGEST. 1995 53RD ANNUAL CHARLOTTESVILLE, VA, USA 19-21 JUNE 1995, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, 19. Juni 1995 (1995-06-19), Seiten 88-89, XP010162116 ISBN: 0-7803-2788-8 Seite 88; Abbildung 1 ---	1-3,5-10
	---	-/--

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internes Aktenzeichen

PCT/DE 00257

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie:	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Beitr. Anspruch Nr.
X	YAMADA F M ET AL: "Reliability of a High Performance Monolithic Ic Fabricated Using a Production Gaas/aigaas Hbt Process" GAAS IC SYMPOSIUM. IEEE GALLIUM ARSENIDE INTEGRATED CIRCUIT SYMPOSIUM. 16TH ANNUAL. TECHNICAL DIGEST 1994 (CAT. NO.94CH34488), PROCEEDINGS OF 1994 IEEE GAAS IC SYMPOSIUM, PHILDELPHIA, PA, USA, 16-19 OCT. 1994 , 16. Oktober 1994 (1994-10-16), Seiten 271-274, XP010255294 Zusammenfassung; Abbildung 1 ----	1-3,6-10
A	WO 01 09957 A (HRL LAB LLC) 8. Februar 2001 (2001-02-08) Seite 9, Absatz 1 -----	6-8

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internes Aktenzeichen

PCT/DE-000257

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 5041882	A	20-08-1991	JP	2804095 B2	24-09-1998
			JP	3042841 A	25-02-1991
US 5266818	A	30-11-1993	DE	69030355 D1	07-05-1997
			DE	69030355 T2	04-09-1997
			EP	0430595 A1	05-06-1991
			JP	2980630 B2	22-11-1999
			JP	3218675 A	26-09-1991
US 5767540	A	16-06-1998	JP	3117831 B2	18-12-2000
			JP	6244195 A	02-09-1994
WO 0109957	A	08-02-2001	AU	6383000 A	19-02-2001
			WO	0109957 A1	08-02-2001